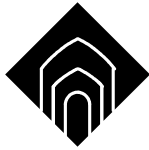
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Castilla-La Mancha
Escuela Técnica Superior Ing. Agrónomos



PRÁCTICA 7: PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

MATERIAL

- Dinamómetro de 1 N
- Bolas de péndulo (3 al menos) de distintas masas entre 20 y 80 g, con pestaña de sujección
- Hilo
- Balanza electrónica de tarado automático capaz de apreciar al menos 0.1 g
- Vaso de precipitados

FUNDAMENTO

Cuando un sólido se encuentra sumergido en un fluido aparecen fuerzas debidas a la presión que éste ejerce sobre aquel. Consideremos como ejemplo una esfera sumergida en un líquido. De acuerdo con la ecuación fundamental de la estática de fluidos, la presión crece con la profundidad, y por tanto las fuerzas ejercidas sobre los puntos del sólido más alejados de la superficie son mayores que las ejercidas sobre los puntos más cercanos. Estas fuerzas son siempre perpendiculares a la superficie (ver figura 1), y su resultante E, dirigida verticalmente hacia arriba, recibe el nombre de empuje. La diferencia entre el peso W del cuerpo y el empuje E es el peso aparente. Si el peso aparente es positivo ($W>E$), el sólido se hundirá; en caso contrario, flotará de tal modo que el empuje sobre la parte sumergida sea igual al peso.

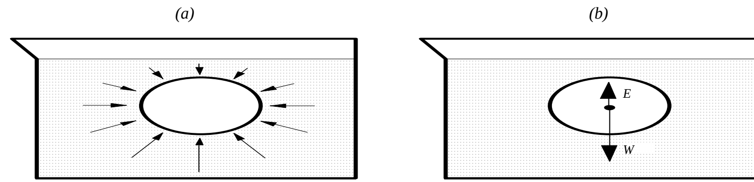


Figura 1. (a) Las fuerzas (siempre normales a la superficie) ejercidas por el fluido sobre un sólido son mayores a mayor profundidad. (b) La resultante de estas fuerzas de presión es el empuje *E*, que se opone al peso *W* del cuerpo y tiende a llevarlo hacia la superficie. El cuerpo flotará si $E > W$, y se hundirá en caso contrario.

La aparición del empuje debido a las fuerzas de presión no está limitada al caso de los líquidos. Estas fuerzas aparecen también en los gases, si bien en éstos los valores del empuje son mucho menores debido a la menor densidad que presentan. El principio* de Arquímedes establece que "*el empuje sufrido por un sólido sumergido en un fluido es igual al peso del volumen de fluido que desaloja*". A partir de aquí es fácil obtener una relación entre el peso aparente del cuerpo sumergido y las densidades de sólido y fluido. Sea V el volumen del sólido, y ρ_s su densidad. Su peso es entonces $W = \rho_s g V$ (g representa la aceleración de la gravedad). Puesto que el volumen de fluido desplazado por el sólido totalmente sumergido es también V, el empuje viene dado por $E = \rho_f g V$ (ρ_f es la densidad del fluido). El peso aparente F del sólido sumergido es:

$$F = W\text{-}E = (\rho_s\text{-}\rho_f) g V \qquad (1)$$

Medida de fuerzas sobre sólidos sumergidos. Medidas de empuje.

---

* Esto no es un principio fundamental de la física como la conservación de la energía o del momento cinético, por ejemplo, sino una consecuencia de las leyes de la mecánica. No obstante, fué establecido por Arquímedes hace más de 2000 años, y se ha conservado el término *principio* para referirse a él.

1º) Medida del peso aparente. Despreciando el pequeño efecto de empuje debido al aire, la lectura de un dinamómetro nos da directamente el peso W de un cuerpo suspendido del mismo. Si el sólido colgado del dinamómetro se sumerge en un líquido cuidando que no haya contacto con las paredes ni el fondo del recipiente, la lectura del dinamómetro nos proporciona entonces el peso aparente F. Según la ecuación (1), la diferencia W-F es igual al empuje.

2º) Medida directa del empuje. Una forma alternativa del medir el empuje consiste en el empleo de una balanza de resorte sobre la cual se coloca un vaso conteniendo agua. La balanza se tara de forma que su lectura con el vaso encima sea cero. Seguidamente se sumerge el sólido sin que toque el fondo ni las paredes del recipiente (ver figura 2) y la balanza nos da directamente el valor del empuje, como veremos a continuación.

La figura 2(a) representa un sólido suspendido de un dinamómetro D completamente sumergido en el fluido contenido en el vaso, el cual está a su vez situado sobre el platillo de una balanza de resorte M. La densidad del sólido representado es mayor que la del fluido. En la figura 2(b) tenemos el diagrama de las fuerzas que actúan sobre el sólido sumergido. El dinamómetro hace sobre el sólido una fuerza igual a su peso aparente, verificando la ecuación (1).

En la figura 2(c) se consideran las fuerzas que actúan sobre el sistema sólido+fluido+recipiente. El dinamómetro hace una fuerza F igual al peso aparente del cuerpo sobre un sistema de masa total $W+W_0$ (W_0 es la masa total del recipiente y el fluido), y estas fuerzas están equilibradas por la reacción R ejercida por el resorte M de la balanza. Por tanto se verifica:

$$R+F = W+W_0 \qquad (2)$$

Sustituyendo en la ecuación (2) el peso aparente F por su valor W-E, se obtiene:

$$E = R-W_0 \qquad (3)$$

Si disponemos de una balanza que pueda tararse para el valor W_0 (es decir, ponerla a cero con recipiente y fluido *antes* de sumergir el sólido), la lectura R de la balanza indica directamente el empuje.

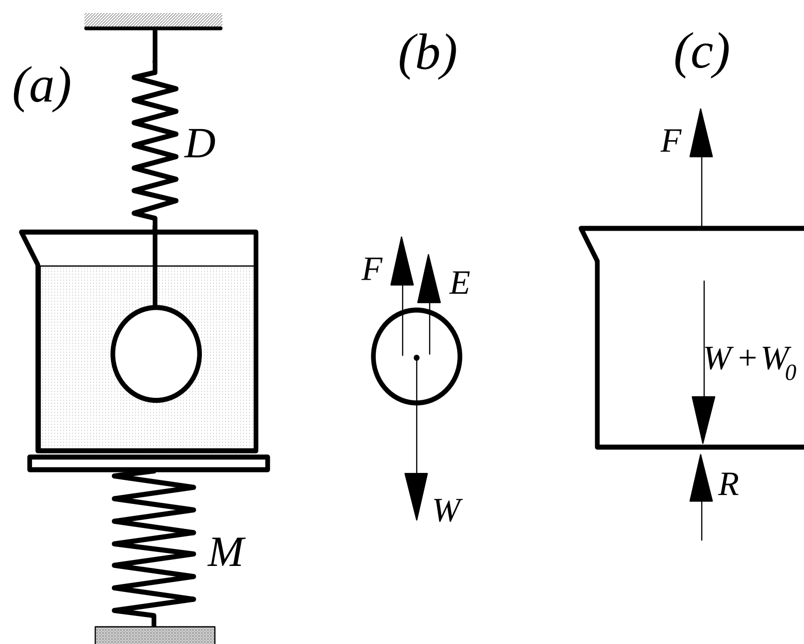


Figura 2. (a) Un sólido suspendido de un dinamómetro *D* se sumerge completamente en un fluido de menor densidad contenido en un vaso situado sobre una balanza de resorte *M*. (b) Diagrama de sólido libre del cuerpo: la fuerza *F* realizada por el dinamómetro (igual al peso aparente) y el empuje *E* son opuestos al peso *W*. (c) Diagrama de sólido libre del sistema formado por recipiente, fluido y sólido: el peso total $W+W_0$ de este sistema está compensado por el dinamómetro (la fuerza que ejerce sobre el sistema es igual al peso aparente *F*) y la reacción *R* del resorte de la balanza.

PARTE EXPERIMENTAL

Utilizaremos como sólidos de prueba tres esferas metálicas de acero (bolas de péndulo), y para cada una de ellas se realizará un mínimo de tres medidas del modo expuesto a continuación. Al iniciar las medidas es necesario tener preparado un vaso con agua encima del platillo de la balanza electrónica.

Para registrar las medidas preparamos una tabla similar a la que se presenta más abajo (tabla 1), añadiendo tantas filas como sean necesarias según el número de medidas efectuadas (ordinariamente nueve, tres por cada bola). Al realizar cada medida suspendemos una bola del dinamómetro y se anota su peso en newton en el aire (despreciaremos el empuje provocado por el aire, al ser este mucho menos denso que el agua). El resultado se anota en la columna rotulada "Dinam. (aire) W (N)". Después se tara a cero la balanza (esto equivale a hacer $W_0 = 0$ en la ecuación (7)) y seguidamente se sumerge la bola en el vaso con agua, cuidando que no toque las paredes ni el fondo, y se anotan dos cosas: el peso en newton que marca ahora el dinamómetro (peso aparente) en la columna "Dinam. (agua) F (N)" y la lectura de la balanza (empuje en gramos-fuerza) en la columna "Lectura balanza R (g-f)". Al tomar las lecturas del dinamómetro hay que tener la precaución de dirigir la visual perpendicularmente a la escala para evitar errores de paralaje.

Tabla 1. Medidas de peso aparente y empuje.

Bola nº.	Dinam. (aire) *W* (N)	Dinam. (agua) F (N)	Lectura balanza *R* (g-f)

TRATAMIENTO DE DATOS

Promediando todas las medidas obtenidas para cada bola, a partir del empuje se determinará el volumen de cada una (recuérdese que el empuje es igual al peso del volumen de fluido desplazado), y a partir del peso en el aire determinaremos la masa. Con estos datos, calcúlese la densidad de cada bola.

Para cada bola se determinará el empuje por los dos procedimientos explicados en la sección anterior (medida del peso aparente y medida directa del empuje). Además, a partir del empuje se obtiene el volumen de líquido desalojado, y por tanto el volumen del sólido (tomaremos como densidad del agua el valor 1.00 g/cm^3). Calcúlese la densidad de cada sólido empleado en la experiencia.

EJEMPLO

Para una bola de 58.5 g (indicación de la balanza) se obtienen las siguientes medidas:

Dinamómetro: W = 0.57 N; F = 0.50 N;

Balanza: R = 7.5 g-f (lectura después del tarado)

De la diferencia de las dos lecturas del dinamómetro resulta según la ecuación (5) el siguiente valor del empuje medido directamente:

$$E = W\text{-}F = 0.57 - 0.50 = 0.07 \text{ N}$$

De la ecuación (7), teniendo en cuenta que $W_0 = 0$ por estar tarada la balanza, obtenemos para el empuje el valor:

$$E = R\text{-}W_0 = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9.80 \text{ m/s}^2 = 0.074 \text{ N}$$

Según el principio de Arquímedes, el empuje de 7.5 g-f es igual al peso del líquido desalojado. Por tanto el volumen de agua desalojada, igual al volumen de la bola, es 7.5 cm^3. Por lo tanto, la densidad del material que la forma es:

$$\rho = \text{Masa/Volumen} = 58.5 \text{ g} / 7.5 \text{ cm}^3 = 7.8 \text{ g/cm}^3$$

PREGUNTAS

1 ¿De qué depende que un cuerpo sólido flote o no en un líquido: de su volumen, de su peso o de su densidad? ¿O depende simultáneamente de varios de estos factores?

2 ¿Podría realizarse la práctica empleando mercurio (ρ = 13.6 g/cm^3) en lugar de agua como fluido?

3 Si se tiene una esfera de acero de masa y volumen conocidos, ¿podrías sugerir algún procedimiento basado en el principio de Arquímedes para determinar aproximadamente la densidad de un líquido problema de densidad desconocida?

4 ¿Cuál de los dos procedimientos es más preciso, la medida del peso aparente o la medida directa del empuje?.